



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 25 200 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
G 01 R 33/02
G 01 R 33/022

②① Aktenzeichen: 197 25 200.1
②② Anmeldetag: 14. 6. 97
④③ Offenlegungstag: 13. 8. 98

DE 197 25 200 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

⑦① Anmelder:
Vallon GmbH, 72800 Eningen, DE

⑦④ Vertreter:
Klocke, Späth, Neubauer, 72160 Horb

⑦② Erfinder:
Keller, Helmut, 72076 Tübingen, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:
DE 41 25 733 C1
DE 29 42 847 C2
DE 40 05 079 A1
US 41 94 150
EP 01 54 129 B1
EP 01 56 086 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung und Verfahren zum Messen eines Magnetfeldes mit Sondentripel

⑤⑦ Vorrichtung zum Messen eines magnetischen Totalfeldes und/oder Magnetfelddifferenz mittels mindestens zwei in Differenz geschalteten Sonden (Gradiometer), wovon mindestens eine als Sondentripel ausgebildet ist und eine mit den Sonden verbundenen Auswerteeinheit zur rechnerischen Ermittlung der gewünschten Werte. Mindestens ein Sondentripel weist drei Teilsonden mit linear unabhängiger Ausrichtung auf. Diese sind vorzugsweise dicht beabstandet im Vergleich zum Abstand zur nächsten Sonde und die Auswerteeinheit führt die rechnerische Kompensation der mechanischen Fehler durch die Verknüpfung der Ausgangssignale durch. Eine bevorzugte Ausführungsform weist drei Sondentripel in einem Sondenrohr auf, in dem sie fest installiert sind. Die Sondentripel mit den Teilsonden sind bevorzugt pyramidenförmig angeordnet. Die rechnerische Korrektur erfolgt gemäß dem Verfahren durch die Bildung einer Korrekturformel, in der die Differenzwerte der einzelnen einander zugeordneten Teilsonden eines Sondentripels mit einem sondenspezifischen Korrekturfaktor, der mit den Meßwerten des jeweiligen Sondentripels multipliziert wird, verknüpft sind.

DE 197 25 200 A 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Messen eines magnetischen Totalfeldes und/oder Magnetfelddifferenz (Gradiometer) mittels mindestens zwei Sonden, wovon mindestens eine als Sondentripel ausgebildet ist, und einer mit den Sonden verbundenen Auswerteeinheit zur rechnerischen Ermittlung der gewünschten Werte. Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zum Messen eines Magnetfeldes mittels dieser Vorrichtung.

Aus der EP 0 154 129 B1 ist ein magnetisches Sondentripel mit drei aufeinander senkrecht stehenden Hauptachsen bekannt, das aus jeweils zwei zu den Richtungen der Hauptachsen parallel laufenden, gleich aufgebauten Teilsonden besteht, wobei die Achsen zweier zusammengehöriger Teilsonden Rechtecke aufspannen, deren Mittelpunkte in einem Punkt zusammenfallen und die aufeinander senkrecht stehen. Diesem bekannten Sondentripel lag, ausgehend von dem in dem Patent veröffentlichten Stand der Technik gemäß der US 4 194 150, die Aufgabe zugrunde, ein Sondentripel zu schaffen, bei dem eine wirksame Entkopplung der drei SONDENSYSTEME auf einfache Art und ohne besonderen Aufwand erreicht wird. Hierzu werden spezielle Abmessungen der einzelnen Teilsonden in Bezug auf die Länge und die Abstände zueinander vorgeschlagen. Dieses magnetische Sondentripel ist zum Messen eines magnetischen Totalfeldes oder der Projektionen eines Magnetfeldes bzw. einer Magnetfelddifferenz in die Richtung der drei Hauptachsen geeignet.

Zum Aufsuchen von im Erdboden oder im Wasser verborgenen ferromagnetischen Körpern wie Bombenblindgänger, Minen, Schiffe und Schiffsteile und dergleichen werden Differenzsonden (Gradiometer) verwendet, die die von diesen Körpern verursachten Störungen des sonst homogenen magnetischen Erdfeldes, den Erdfeldgradienten, für die Ortung der Körper auswertet. Hierzu ist aus der DE 29 42 847 C2 eine Magnetfelddifferenzsonde mit zwei Magnetfeldsensoren bekannt, deren magnetische Achsen parallel zu einer gedachten Geraden ausgerichtet sind und die Magnetkernelemente aufweisen, die voneinander einen bestimmten Basisabstand entlang der gedachten Geraden aufweisen. Da diese Sonden Magnetfelddifferenzen der Größenordnung von 1 nT auflösen müssen, während sie unter dem Einfluß einer Feldstärke, beispielsweise des magnetischen Erdfeldes, von 50.000 nT befinden, bedeutet dies, daß an die Parallelität der magnetischen Achsen der verwendeten Magnetfeldsensoren untereinander bzw. mit der gedachten Geraden sehr hohe Anforderungen gestellt werden müssen, wenn bei einer Drehung der Differenzsonde, zum Beispiel um deren Längsachse, nicht eine Magnetfelddifferenz vorgetäuscht werden soll. Die Meßspannung dieser Differenzsonden bei der Durchführung von Suchaufgaben steigt mit größer werdendem Basisabstand der Magnetfeldsensoren an.

Grundsätzlich ist aus der EP 0 156 086 B1 bekannt, den mechanischen Fehler eines magnetischen Gradientenmessers automatisch zu kompensieren. Hierzu wird zu einer von drei senkrecht aufeinander stehenden Sonden eine zweite mit dieser einen im geringen Abstand angeordneten und einen Fluchtungsfehler einschließenden Sonde vorgesehen und mittels dieser Größen der mechanische Fehler kompensiert.

Ausgehend von diesem bekannten Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Möglichkeit vorzuschlagen, die den mechanischen Aufbau und das Ausrichten der Sonden innerhalb einer Magnetfelddifferenzsonde mit mindestens einem Sondentripel wesentlich vereinfacht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Hauptanspruchs gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind den Unteransprüchen zu entnehmen. Die Aufgabe wird außerdem durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Verfahrensanspruchs zum Messen eines Magnetfeldes mittels der erfindungsgemäß ausgestalteten Vorrichtung gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind dem diesbezüglich rückbezogenen Verfahrensanspruch zu entnehmen.

Gemäß der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist mindestens eine Sonde als Sondentripel ausgebildet, bei dem drei Teilsonden linear unabhängig (d. h. eine Basis für den 3-dimensionalen Raum bilden) ausgerichtet sind. Des weiteren sind die Teilsonden, die in bekannter Art und Weise als stabförmige Sonden ausgebildet sind, vorzugsweise dicht beabstandet im Vergleich zum Abstand der nächsten Sonde. Bei der nächsten Sonde kann es sich entweder um eine Einzelsonde oder wiederum um ein entsprechend ausgestaltetes Sondentripel handeln. Der Abstand der beiden äußeren Sonden beträgt entsprechend der bisher bekannten Praxis circa 0,5 Meter als sogenannte Sondenbasis. Durch die lineare Unabhängigkeit der einzelnen Teilsonden eines Tripels wird die rechnerische Kompensation der mechanischen Fehler mittels der Auswerteeinheit durch Verknüpfen der Ausgangssignale der Sonden ermöglicht. Es erfolgt somit grob anschaulich eine rechnerische Drehung der Sonden im Raum.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind die Teilsonden als Kanten eines gedachten Pyramidenstumpfes als Dreieckspyramide angeordnet, um eine symmetrische Anordnung zur vereinfachten Auswertung zu erreichen. Besonders bevorzugt sind die Teilsonden in einem gleichseitigen Dreieck als Basis angeordnet. Die Neigung der Teilsonden, definiert durch das Verhältnis Länge zu Auslenkung, beträgt vorzugsweise 5 : 1, wobei jedoch auch andere Schräglagen möglich sind. Dies entspricht einem Neigungswinkel gegenüber der Senkrechten von $\arcsin 1 : 5$ (circa 11,5 Grad). Durch die Schräglage der einzelnen Teilsonden der Gradiometersonden zueinander enthalten deren Meßwerte unterschiedliche Informationen, wie sie bei gleichorientierten Gradiometersonden nur mit wesentlich größeren Seitenabständen zu gewinnen sind.

Die einzelnen Teilsonden eines Sondentripels weisen vorzugsweise die gleiche Schrägstellung auf (symmetrisch zur Rotationsachse). Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind jeweils zwei einander zugeordneten Teilsonden zweier Sonden parallel zueinander angeordnet. Die Abstimmung und Ausrichtung einer Sonde auf die andere erfolgt zweckmäßiger Weise derart, daß eine Sonde auf eine andere (feste) Sonde rechnerisch korrigiert ausgerichtet wird.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden drei Sonden bestehend jeweils aus einem Sondentripel übereinander angeordnet und dabei entweder zwei benachbarte und die beiden äußeren oder jeweils zwei benachbarte in Differenz geschaltet und in einem Sondenrohr fest angeordnet. Damit werden typischerweise aus neun Teilsonden sechs Gradiometer gebildet, da immer zwei einander zugeordnete Teilsonden in Differenz geschaltet werden. Bei dieser Anordnung werden beim einmaligen Überstreichen einer Suchbahn Felddifferenzen zu drei verschiedenen Feldrichtungen in jeweils zwei verschiedenen Höhen ermittelt. Durch die starre Verbindung der Sensoren in einem kompakten Sondenrohr ist die Aussagekraft dieser Werte wesentlich größer als bei mehrmaligem Überstreichen auf benachbarten Bahnen mit einzelnen Gradiometern, da die Ortskoordinaten der einzelnen Sonden relativ zueinander durch die mechanisch starre Verbindung konstant und exakt bekannt sind.

Aus den Projektionen auf die drei linear unabhängigen Richtungen eines Tripels (Sondenorientierungen) kann auch das homogene Erdmagnetfeld bestimmt werden. Aus der Orientierung der Sonden im Erdmagnetfeld, die aus den Absolutwerten eines Sondentripels ermittelt wird, kann zusammen mit weiteren Bedingungen, beispielsweise Aufhängung des Sonden-Arrays, die Position der Teilsonden im Raum genau bestimmt werden.

Des weiteren können Abweichungen in der Bewegungsbahn der Sonden (Sonden-Army), die beispielsweise durch zeitlich veränderliche Schräglagen (Schaukeln) der Sonden (Array) entstehen, rekonstruiert werden.

In bekannter Art und Weise kann durch Anheben der Sonden und Messung der jeweiligen Werte eine Tiefenmessung vorgenommen werden. Durch die Anordnungen der Sonden in verschiedenen Höhen ist dies jedoch nicht mehr unbedingt erforderlich.

Die genaue Kenntnis der Meßorte und der Teilsondenorientierung im Raum ist bei der Datenauswertung zur genauen Bestimmung der Objektposition und anderer Objektparameter wichtig. Die Auswertung der Daten kann gemäß der abhängigen deutschen Patentanmeldung 196 54 142.5 vom 23.12.96 mit dem Titel "Verfahren zur Auswertung von Detektionssignalen" erfolgen.

Anstatt in das Sondenrohr eingebaut, könnten die Sondentripel auch in beispielsweise einer Ebene mit mehr als drei Sondentripel angeordnet werden, um ein Sonden-Array zu bilden oder aus einer Vielzahl von Sondentripel ein räumliches Gebilde erstellt werden. Auch ist es möglich, aus mehreren Sondenrohren mit jeweils zwei oder drei Sondentripel wieder ein Array zu bilden. Zusätzlich können zu den Sonden auch (Puls-)Spulen in das Sondenrohr eingebaut werden, die beispielsweise, sofern stabil in ihrer Orientierung, laufend die nachfolgend noch beschriebenen Korrekturkoeffizienten für die Sondentripel liefern. Damit könnte eine automatische Einstellung und Korrektur im Rahmen einer wartungsfreien Sonde erfolgen. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch die Unterbringung einer Spule am unteren Ende des Sondenrohrs zur Detektion von Erkennungsmarken.

Wie bereits vorstehend erwähnt, erfolgt bei der Differenzwertmessung die Messung von kleinen Differenzen großer Absolutwerte. Ohne analoge Differenzbildung ist die dann erforderliche sehr hohe A/D-Wandlerrauflösung eventuell schwierig zu realisieren. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform empfängt die Auswerteeinheit daher die Meßwerte der Teilsonden direkt und zusätzlich (analoge) Differenzwerte einander zugeordneter Teilsonden.

Die Auswerteeinheit führt die rechnerische Korrektur der mechanischen Fehler gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel gemäß der Formel

$$K = D + A \times S,$$

wobei K die korrigierten Differenzwerte, D die Differenzwerte zweier Sondentripels, A eine Matrix gesondert zu ermittelnder Korrekturfaktoren und S die Meßwerte eines Sondentripels enthält. Die Korrekturfaktoren A sind geräteabhängig und werden so festgelegt, daß sie mechanisch bedingte Ausrichtungsfehler und die Eichfehler der Sonden ausgleichen. Verändern sich die Ausrichtungen der Teilsonden, so müssen auch die Korrekturfaktoren geändert werden.

Vorzugsweise sind die Korrekturfaktoren in einem nicht flüchtigen Speicher abgespeichert.

Wie vorstehend erwähnt, wird vorzugsweise der Korrekturwert aus den analogen Differenzwerten der Teilsonden und den Absolutwerten gebildet und aus diesen der kor-

gierte Differenzwert unter Verwendung der Korrekturfaktoren errechnet. Grundsätzlich ist es jedoch auch möglich, rechnerisch die Differenzwerte D durch Subtraktion der Meßwerte zweier einander zugeordneten Teilsonden zu bilden.

Die Korrekturformel bezieht sich auf zwei in Differenz geschaltete Sonden, wobei es sich bei mindestens einer um ein Sondentripel handelt. Bei der Verwendung von drei Sondentripel kann zusätzlich zu den Differenzen aus oberer Sonde minus mittlerer Sonde (D') und mittlerer Sonde minus unterer Sonde (D'') auch noch die Differenz aus oberer Sonde minus unterer Sonde (D'') gebildet werden. Hierbei gilt dann für die Differenz D, die für jede der obigen Differenzschaltungen ermittelt wird, $D'' = D' + D''$.

Sofern alle Meßwerte für die Ermittlung der Korrekturformel laufend aufgezeichnet werden, so können die Korrekturmatriken A auch mit den Daten des Gesamtfeldes bestimmt werden. Außerdem ist auch eine laufende Optimierung eventuell auch mittels zusätzlicher Pulsspulen möglich.

Gemäß dem erfindungsgemäß ausgestalteten Verfahren werden die analogen Differenzwerte zweier Sonden ermittelt und die korrigierte Differenz K gemäß der vorstehend erwähnten Formel ermittelt. Die Korrekturmatriken A wird dabei bestimmt, in dem in einem homogenen Magnetfeld die Sonden gemeinsam nacheinander in $k = 3$ linear unabhängige Raumrichtungen ausgerichtet werden und aus den dabei erhaltenen Meßwerten S_{ijk} ($i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, 3$; $k = 1, 2, 3$ mit i = Nummer des Sondentripels, j = Nummer der Teilsonde und k = Raumrichtung) die Werte A_{ij} der Matrix A so errechnet werden, daß die Gleichung $0 = D + A \times S_k$ simultan für $k = 1, 2$ und 3 gelöst wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausbildung des Verfahrens wird die Korrekturmatriken A bestimmt, indem die Sonden gemeinsam in N ($N > 3$) Raumrichtungen ausgerichtet werden, und dann anstelle des vorstehend erwähnten Gleichungssystems die Werte von A so gewählt werden, daß das Minimumproblem $\text{SUM} (D + A \times S_k)^2 = \text{Minimum}$ gelöst wird, wobei die Summe über $k = 1, 2, \dots, N$ gebildet wird.

Bei diesem Verfahren werden zufällige Meßfehler und der Einfluß eventuell während der Korrekturmessung vorhandener Feldinhomogenitäten verkleinert.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen näher erläutert. Es stellen dar:

Fig. 1 Die schematische Darstellung eines Sondenrohrs mit drei übereinander angeordneten und fest mit dem Sondenrohr verbundenen Sondentripel und

Fig. 2 die Anschlußbelegung einer Auswerteeinheit bei drei Sondentripel gemäß **Fig. 1**.

Fig. 1 zeigt in der schematische Darstellung ein Sondenrohr 4 mit drei übereinander angeordneten Sondentripel 1, 2 und 3, die fest mit dem Sondenrohr 4 verbunden sind. Die einzelnen Teilsonden 11 bis 13, 21 bis 23 und 31 bis 33 sind symmetrisch auf einem Kreis 5, wie in der Figur dargestellt, angeordnet, so daß sie sich an den Eckpunkten eines gleichseitigen Dreiecks 7 befinden. In der technischen Realisierung können die Teilsonden auf einen Kegelstumpf aufgebracht werden. Die einzelnen Sonden sind in nicht dargestellter Art und Weise und dem Fachmann geläufig mit einer Auswerteeinheit, die entsprechende Rechenoperationen durchführen kann und entsprechend der Anzeigeinstrumente bedient, verbunden.

Fig. 2 zeigt in der **Fig. a** schematisch die einzelnen Sondentripel mit ihren Teilsonden und den die Teilsonden abgebenden Werte S_{ij} . **Fig. 2b** zeigt die Belegung der Anschlüsse der Signalauswerteeinrichtung in Form einer Auswerteeinheit 6, die vorzugsweise ND-Wandler und einen digitalen

Signalprozessor (DSP) umfaßt und, aus der ersichtlich ist, daß die Meßwerte der einzelnen Sondentripel einerseits als Absolutwerte und darüber hinaus noch die analogen Differenzwerte der einander zugeordneten Teilsonden der Tripel 1, 2 über die Anschlüsse D'1, D'2 und D'3 sowie die analogen Differenzwerte der einander zugeordneten Teilsonden der beiden Tripel 2, 3 über die Anschlüsse D''1, D''2 und D''3 an der Auswerteeinheit 6 angelegt werden.

Für die einzelnen Gradiometer müssen gemäß der vorstehend erwähnten Korrekturformel

$$K = D + A \times S$$

die korrigierten Differenzen ermittelt werden. Da es sich im vorliegenden Fall um zwei Differenzmessungen zwischen den Tripel 1, 2 und den Tripel 2, 3 handelt, ergeben sich somit folgende Korrekturformeln

$$K' = D' + A' \times S1 \text{ und} \\ K'' = D'' + A'' \times S2.$$

Ausgeschrieben lauten damit die Gleichungen wie folgt:

$$K'1 = D'1 + A'11 \times S11 + A'12 \times S12 + A'13 \times S13 \\ K'2 = D'2 + A'21 \times S11 + A'22 \times S12 + A'23 \times S13 \\ K'3 = D'3 + A'31 \times S11 + A'32 \times S12 + A'33 \times S13$$

und

$$K''1 = D''1 + A''11 \times S21 + A''12 \times S22 + A''13 \times S23 \\ K''2 = D''2 + A''21 \times S21 + A''22 \times S22 + A''23 \times S23 \\ K''3 = D''3 + A''31 \times S21 + A''32 \times S22 + A''33 \times S23.$$

Dabei bedeuten

S11, S12, S13 Meßwerte des oberen Sondentripels (Tripel 1)
S21, S22, S23 Meßwerte des mittleren Sondentripels (Tripel 2)
S31, S32, S33 Meßwerte des unteren Sondentripels (Tripel 3),
D'1, D'2, D'3 (analoge) Differenzwerte der mittleren minus oberen Teilsonden,
D''1, D''2, D''3 (analoge) Differenzwerte der unteren minus mittleren Teilsonden,
die Matrizen A' bzw. A''

$$A' = \begin{pmatrix} A'11 & A'12 & A'13 \\ A'21 & A'22 & A'23 \\ A'31 & A'32 & A'33 \end{pmatrix}$$

$$A'' = \begin{pmatrix} A''11 & A''12 & A''13 \\ A''21 & A''22 & A''23 \\ A''31 & A''32 & A''33 \end{pmatrix}$$

A' die Matrix zur Korrektur der aus Tripel 2 und Tripel 1 gebildeten Differenzwerte D'1, D'2, D'3 (Gradienten) bzw. A'' die Matrix zur Korrektur der aus Tripel 3 und Tripel 2 gebildeten Differenzwerte D''1, D''2, D''3 (Gradienten) und K'1, K'2, K'3 die korrigierten D'1, D'2, D'3 Differenzwerte und K''1, K''2, K''3 die korrigierten D''1, D''2, D''3 Differenzwerte.

Die Meßwerte des unteren Sondentripels 3 werden in die-

sem Fall nicht zur Korrektur herangezogen, weil die beiden oberen Sondentripel auf das untere ausgerichtet werden.

Zur Bestimmung der Korrekturmatrixen A' und A'' des Sondenarrays wird das Sondenarray in einem homogenen Magnetfeld, d. h. weit weg von Eisenteilen, nacheinander in k = 3 linear unabhängige Raumrichtungen ausgerichtet. Aus den dabei erhaltenen Meßwerten Sijk (i, j = 1, 2, 3 und k = 1, 2, 3 sowie D' und D'' werden A'ij und A''ij so errechnet, daß sie die Gleichungen

$$0 = D' + A' \times S1k \text{ und } 0 = D'' + A'' \times S2k \text{ simultan für } k = 1, 2 \text{ und } 3 \text{ lösen.}$$

Vorteilhaft kann das Sensorarray auch in N (N > 3) Raumrichtungen ausgerichtet werden. Anstatt das obige Gleichungssystem zu lösen, werden dann A' und A'' so gewählt, daß sie das Minimumproblem

$$\text{SUM } (D' + A' \times S1k)^2 = \text{Minimum} \\ k = 1, \dots, N$$

und

$$\text{SUM } (D'' + A'' \times S2k)^2 = \text{Minimum} \\ k = 1, \dots, N$$

lösen.

Selbstverständlich können auch mehr Sondentripel verwendet werden. Auch sind obige Gleichungen bei der Verwendung einer Einzelsonde und eines Sondentripels entsprechend einsetzbar.

Aus den Absolutwerten eines Tripels kann das Erdmagnetfeld relativ zum Gradiometerarray bestimmt werden (Kompaß).

Bei dem vorstehenden Ausführungsbeispiel beziehen sich die Korrekturformeln auf die analoge Differenzbildung. Ohne analoge Differenzbildung müssen in den entsprechenden Formeln für D'1, D'2, D'3 bzw. D''1, D''2, D''3 rechnerische Differenzen eingesetzt werden, zum Beispiel D'1 = S21 - S11. Prinzipiell ergibt sich im übrigen jedoch kein Unterschied.

Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem Verfahren können gleichzeitig die drei Komponenten des magnetischen Totalfeldes berechnet und die Differenz der Feldstärken in den einander entsprechenden Feldrichtungen gemessen und je nach Bedarf rechnerisch oder analog ausgewertet werden. Die gesamte Vorrichtung liefert somit die drei Komponenten des magnetischen Totalfeldes und Differenzen einer oder mehrerer Komponenten des magnetischen Feldes.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Messen eines magnetischen Totalfeldes und/oder einer Magnetfelddifferenz mittels mindestens zwei Sonden, wobei mindestens eine Sonde als Sondentripel ausgebildet ist, und eine mit den Sonden verbundene Auswerteeinheit zur rechnerischen Ermittlung der gewünschten Werte, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens ein Sondentripel (1, 2, 3) drei Teilsonden (11-13; 21-23; 31-33) mit linear unabhängiger Ausrichtung aufweist, die über einer Dreiecksfläche in einem gedachten Pyramidenstumpf angeordnet sind, und die Auswerteeinheit (6) die rechnerische Kompensation mechanischer Fehler durch die Verknüpfung der Ausgangssignale durchführt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilsonden über einem gleichseitigen

Dreieck (7) als Basis angeordnet sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Neigung der Teilsonden definiert durch das Verhältnis Länge zu Auslenkung 5 : 1 besteht.

4. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß drei Sondentripel (1, 2, 3) übereinander angeordnet sind.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß entweder zwei benachbarte und die beiden äußeren oder jeweils zwei benachbarte Sondentripel in Differenz geschaltet sind.

6. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwei einander zugeordnete Teilsonden zweier Sondentripel im wesentlichen parallel zueinander angeordnet sind.

7. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilsonden (11-13; 21-23; 31-33) der einzelnen Sondentripel (1, 2, 3) jeweils die gleiche Schrägstellung aufweisen.

8. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Sonden (1, 2, 3) in einem Sondenrohr (4) angeordnet sind.

9. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit (6) die Meßwerte der Teilsonden (11-13; 21-23; 31-33) direkt und über analoge Differenzwertbildung einander zugeordneter Teilsonden empfängt.

10. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit (6) die rechnerische Korrektur gemäß der Korrekturformel

$$K = D + A \times S$$

wobei k die korrigierten Differenzwerte, D die Differenzwerte der Sondentripel, A Matrix aus gesondert zu ermittelnden Korrekturfaktoren und S die Meßwerte eines Sondentripels enthält.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturfaktoren in einem nicht flüchtigen Speicher abgespeichert sind.

12. Verfahren zum Messen eines Magnetfeldes mittels einer Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die analogen Differenzwerte D zweier Sonden ermittelt und die korrigierte Differenz K aus Korrekturwerten A für das jeweilige Sondentripel und den Meßwerten S aller beteiligten Teilsonden gemäß der Formel

$$K = D + A \times S$$

gebildet wird, wobei die Korrekturmatrix A bestimmt wird, indem in einem homogenen Magnetfeld die Sonden gemeinsam nacheinander in $k = 3$ linear unabhängige Raumrichtungen ausgerichtet werden und aus den dabei erhaltenen Meßwerten S_{ijk} ($i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, 3$; $k = 1, 2, 3$ mit i = Nummer des Sondentripels, j = Nummer der Teilsonde, k = Nummer der Raumrichtung) die Werte A_{ij} der Matrix A so errechnet werden, daß die Gleichung $0 = D + A \times S_k$ simultan für $k = 1, 2$ und 3 gelöst wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturmatrix A bestimmt wird, indem die Sonden gemeinsam in N ($N > 3$) Raumrichtungen angeordnet werden und dann anstelle des obigen Gleichungssystems die Werte von A so gewählt werden, daß das Minimumproblem

$$\text{SUM } (D + A \times S_k)^2 = \text{Minimum} \\ k = 1, 2, \dots, N$$

gelöst wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

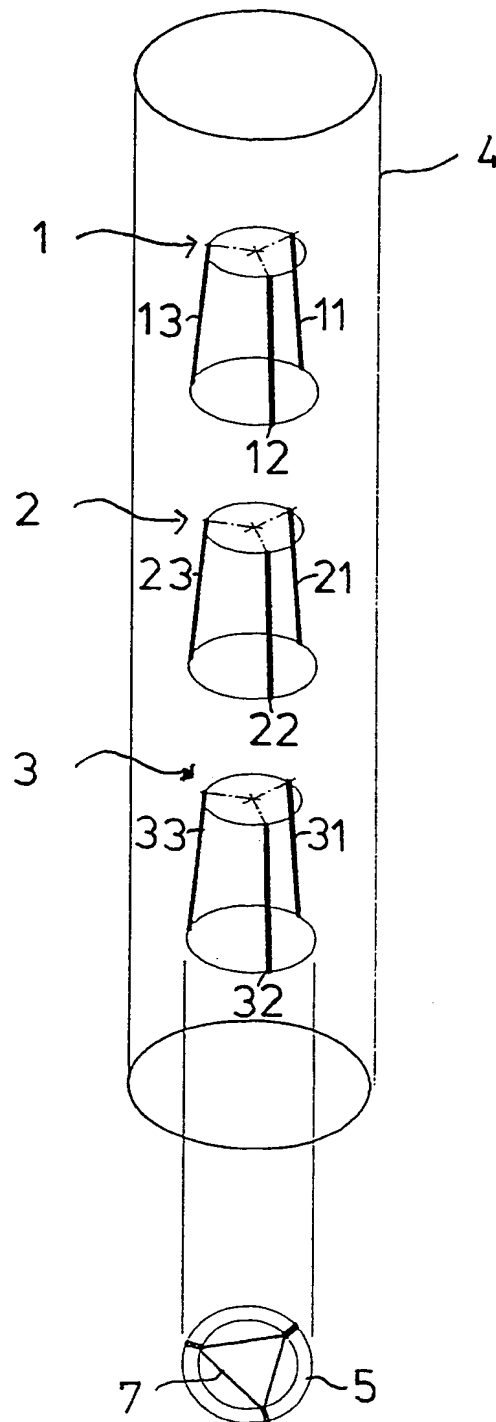


Fig.1

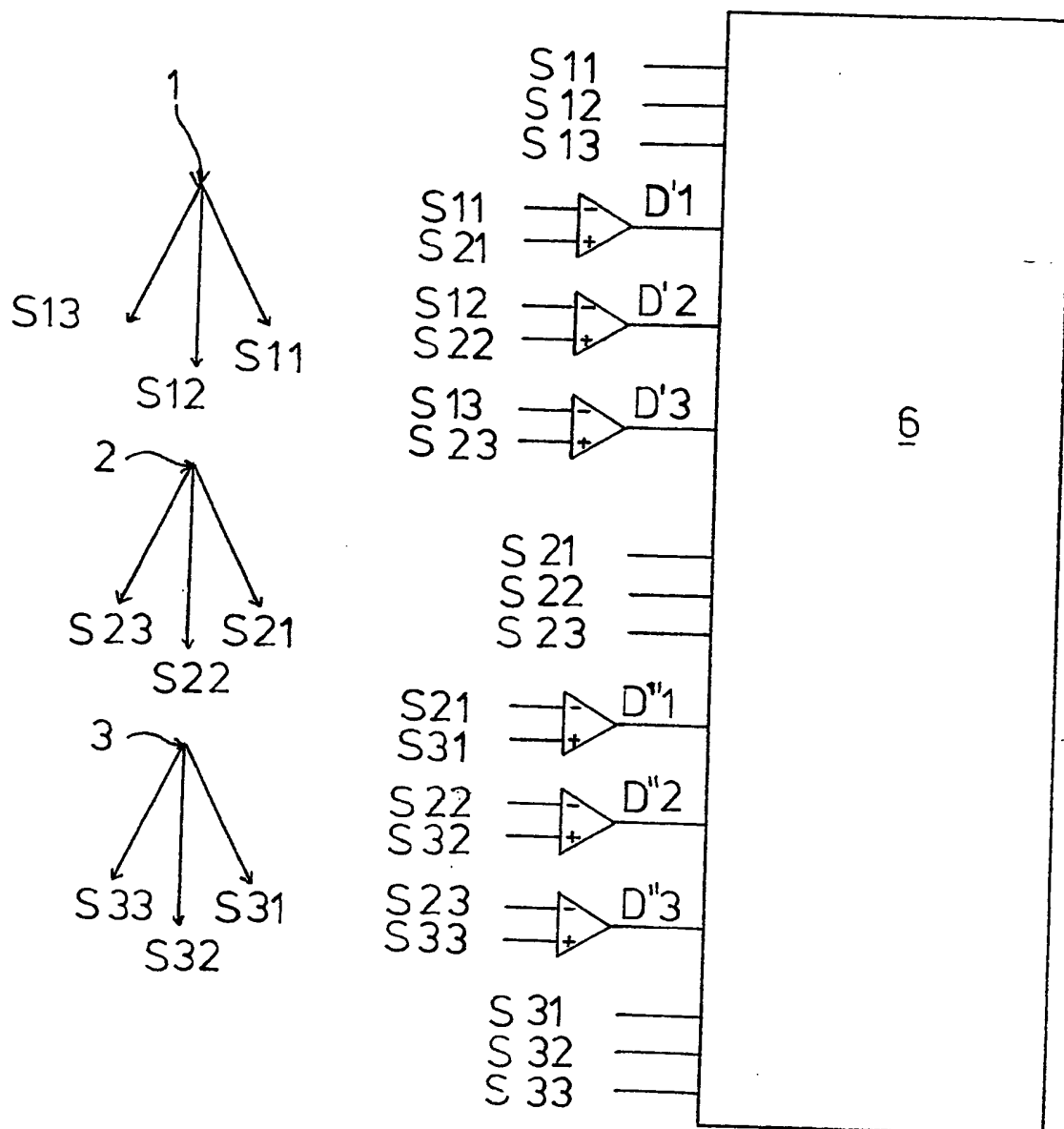


Fig. 2